

Silva, Adrian

La saturación de Oxígeno en los alumnos de la carrera de Guías de Trekking en Cordillera del ISAS

Tesis presentada para la obtención del grado de Especialista en Programación y Evaluación del Ejercicio

Director: Casas, Adrián

Silva, A. (2018). La saturación de Oxígeno en los alumnos de la carrera de Guías de Trekking en Cordillera del ISAS. Trabajo final integrador. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. En Memoria Académica. Disponible en: <http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/tesis/te.1743/te.1743.pdf>

Información adicional en www.memoria.fahce.unlp.edu.ar



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



**ESPECIALIZACIÓN EN PROGRAMACIÓN Y
EVALUACIÓN DEL EJERCICIO.
Universidad Nacional de La Plata.**

Trabajo final Integrador

**“La saturación de Oxígeno en los alumnos de la
carrera de Guías de Trekking en Cordillera del
ISAS”**

**Cohorte 2016
Prof. Silva Adrian**

INDICE

a. Resumen	3
b. Introducción	
1. Efecto de la baja presión sobre el organismo	4
2. Respuesta ventilatoria a la hipoxia	5
3. Difusión	6
4. Relación ventilación perfusión	6
5. Gases arteriales	6
6. Saturación arterial oxígeno	7
7. Aspectos cardiocirculatorios	8
8. Vaso constricción de la arteria pulmonar	8
9. Aspectos endocrinos	8
10. Mal agudo montaña	9
11. Edema pulmonar	10
12. Edema cerebral	11
c. Objetivos	12
d. Metodología y método	12
e. Medición y análisis	
1. Análisis estadístico	14
1.e. Saturación de oxígeno	15-17
2.e. Frecuencia cardiaca	17-18
3.e. Comportamiento de los valores de la FC	19-20
4.e. Comportamiento de los valores Sao ₂	20
5.e. Comportamiento de los valores M.A.M	20-23
6.e. comportamiento síntomas del M.A.M	23
f. Conclusión	24
g. Bibliografía	25
h. Anexo I	26-29
i. Anexo II	29-32
j. Anexo III	32
k. Anexo IV	33

“La saturación de Oxígeno en los alumnos de la carrera de Guías de Trekking en Cordillera del ISAS”

Profesor Silva Adrian Hernán

Resumen

Los objetivos del presente estudio son: a) Identificar las variaciones de la saturación de O₂ y frecuencia cardíaca durante la estancia aguda (4 días) en la altura; b) Analizar los valores obtenidos y sus relaciones con los valores de referencia para la actividad.

Material y Métodos: se realizó pulsioximetría a los alumnos de la escuela de guías de montaña (ISAS), 36 varones y mujeres, con edades variables y distintos niveles de condición física. El tiempo de evaluación fue de 4 días en el terreno. Hemos podido obtener datos de SaO₂ y Fc y escala Lake Louis.

Resultados: de acuerdo a los datos obtenidos la primera noche y mañana (3200m) se dan los valores más bajos de SaO₂, también en dicha mañana se registraron los valores de mayor porcentaje de alumnos con mayor FC siendo del 52,7% lo mismo ocurrió con los signos de M.A.M 55,55%.

Conclusión: Viendo los datos obtenidos y realizando una interpretación de los mismos, decimos que los signos y síntomas de MAM no siempre coinciden con una saturación de oxígeno baja. También durante los periodos de reposo (descanso en la noche) se dieron los valores menores Fc. Se comprobó que durante la 1ª noche y la 1ª mañana hay más del 40 % de la muestra posee síntomas de MAM.

Palabras clave: Saturación de oxígeno. MAM. Hipoxia. Adaptación. Frecuencia cardíaca, edema pulmonar, edema cerebral.

INTRODUCCIÓN

Para el hombre la altura siempre ha sido un reto; y en su afán compulsivo de conquistar todos los medios, para probar y aumentar su resistencia física, vencer todas las barreras y obstáculos. Uno de los factores más limitantes a este desafío, ha sido sin duda, su exposición aguda a la hipoxia, que el organismo tiene que vencer, poniendo en juego múltiples mecanismos para cumplir con un fin: proporcionar el oxígeno suficiente a los tejidos. (Hurtado & Hurtado, 2014) donde se describe los procesos que le pasa a las personas en la altura.

Cuando sometemos nuestro cuerpo a la altura, este se encuentra en constantes cambios, podemos decir que tendremos una etapa inicial en la aclimatación y una etapa con mucha más exigencia.

La adaptación a la altitud se caracteriza por una variedad de cambios funcionales que conducen a facilitar el transporte y el aporte de oxígeno desde el medioambiente hasta la célula. Los más relevantes son los cambios **cardiovasculares, respiratorios y hematológicos**. Estos, a su vez van a condicionar el comportamiento de otros órganos y sistemas. (Redondo, n.d.) en el texto se expone los cambios que ocasiona la altura.

La menor presión de la **atmósfera** conlleva a una menor presión parcial de oxígeno, lo cual limita la difusión pulmonar y el transporte de oxígeno a los tejidos. Esto reduce la liberación de oxígeno a los tejidos corporales produciendo **hipoxia** (falta de oxígeno).

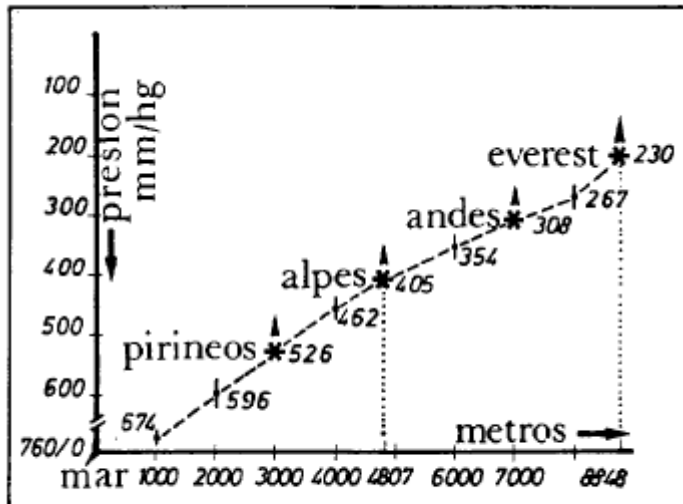


Figura 1. Evolución de la presión atmosférica en mm/Hg según la ganancia de altura en metros.

G. Martínez Villen, J.A. Casasnovas Lenguas, F. Gómez Casal, I.J. Ferreira Montero, J.R. Morandeira García-La Cruz - Departamento de Cirugía A, Cardiología y Hematología del Hospital Clínico Universitario de Zaragoza- "Alteraciones hematológicas y cardiorrespiratorias tras 66 días de permanencia a 7.000 metros. A propósito de un caso"

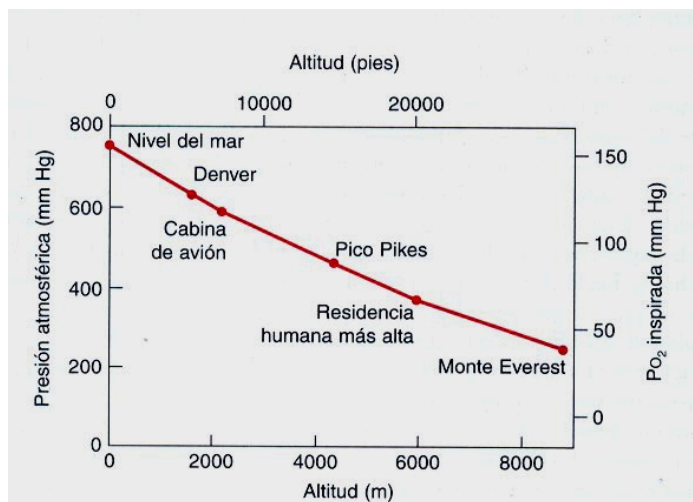


FIG.1 Relaciones entre altitudes y presiones atmosféricas. A 1.520 metros (Denver, Colorado), la PO₂ del gas inspira-do húmedo es de alrededor de 130 mmHg, pero llega sólo a 43 mmHg en la cima del Monte Everest a 8850 metros.

Efectos de la baja presión atmosférica sobre el organismo:

(TERRADOS, 1994) hace diferencia como:

- A. Respuesta fisiológica aguda, la que se produce durante una estancia inferior a los tres días en altitud.
- B. Respuesta fisiológica crónica, la que se produce a partir del tercer día.

A. Respuesta Aguda.

1. En reposo

- Un aumento de la ventilación como respuesta a la falta de presión parcial de O₂
- Un aumento de la Frecuencia Cardíaca con el fin de enviar más cantidad de oxígeno a los órganos.
- Pérdida de Volumen Plasmático y al tiempo una hemoconcentración con el fin de aumentar el porcentaje de O₂ transportado por unidad de volumen de sangre.

- Alcalosis respiratoria (Aumento en el pH de la sangre), por la pérdida excesiva de CO₂ a través de los pulmones.
- Aumento de los niveles de 2,3-DifosfoGlicerato, por lo que producirá una menor afinidad de la Hemoglobina por el O₂
- Aumento de catecolaminas, corticosteroides, hormona antidiurética, hormonas tiroideas y el glucagón.
- Disminuyen la aldosterona y la renina.

B. Respuesta Crónica.

1. Respiración

- La ventilación Pulmonar se mantiene elevada durante el período de estancia en altitud. En personas que nacen y viven a esa altitud, muestran menor ventilación por una mayor capacidad de difusión pulmonar y mayor densidad capilar pulmonar (TERRADOS, 1994). Para MARAJO (1997), esta hiperventilación se difumina a las 72 horas.
- Disminución de la presión arterial y aumento del pH arterial y del líquido cefalorraquídeo.

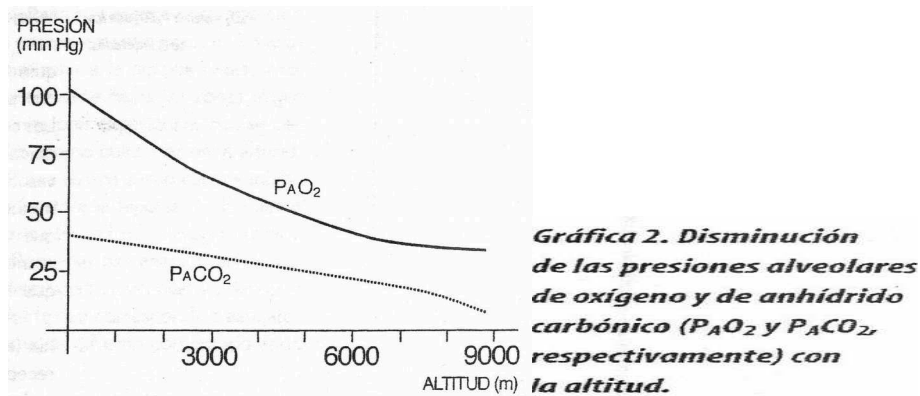
2. Transporte de O₂

- Disminución del Gasto cardíaco, que había subido a la llegada a la altitud, después de 3 a 6 días de permanencia.
 - Mantenimiento de los niveles elevados de 2,3-DifosfoGlicerato, por lo que producirá una menor afinidad de la Hemoglobina por el O₂
 - Producción aumentada de glóbulos rojos, siendo claro este aumento a las 2 semanas. Según GROVER, R. citado por FREDERICK (1987), el efecto real que se produce, es un pérdida de plasma en los vasos y por ello la sangre se espesa, con lo que parece que aumente el número de células rojas.
 - Mantenimiento del bajo nivel plasmático producido por la llegada a la altitud, hasta aproximadamente 2 meses.
 - Mejora en el VO₂Max, sin llegar a los niveles de nivel del mar.
 - Densidad capilar. Aumento de hasta un 100 % según POORTMANS (1984).
- ##### 3. Hormonas.
- Aumento de catecolaminas, corticosteroides, hormona antidiurética, hormonas tiroideas y el glucagón.

4. Metabolismo muscular.

- Pérdida de masa corporal, especialmente grasa corporal y una pérdida ligera de masa muscular.
- Existen discrepancias en cuanto al aumento ó disminución del volumen de mitocondrias en el músculo. Según POORTMANS (1984) aumentan en un 40%.
- TERRADOS y col. (1994) ha encontrado un aumento en la concentración de mioglobina en el músculo entrenado con cargas intensas.
- Aumento en la densidad capilar en el músculo esquelético.
- Aumento en el uso de grasas como fuente energética.
- Aumento de la capacidad tampón muscular

Respuesta ventilatoria a la hipoxia: El cuerpo humano se defiende de la falta de O₂ respirando más veces, con ello aumenta el volumen de aire que ingresa en los pulmones por unidad de tiempo facilitando la salida CO₂, mejorando así la presión parcial de oxígeno alveolar. Este fenómeno se pone en marcha inmediatamente cuando vamos ganando altitud y se lo conoce como "respuesta ventilatoria a la hipoxia"; consiguiendo que haya mayor presión parcial de O₂ en el alveolo pulmonar (PAO₂), por lo que el O₂ se va a difundir con mayor facilidad a la sangre y en consecuencia la presión parcial de O₂ disuelto en sangre (PaO₂) es mayor. Recurre a una hiperventilación.



La respuesta ventilatoria no es constante, sino que aumenta durante los primeros días en la altitud, el mayor incremento de la ventilación se produce durante las primeras 24 Hs. (Botella de Maglia & Compte Torrero, 2005; Redondo, n.d.)

Esta respuesta se produce por un mecanismo reflejo, en el cual intervienen unos *quimiorreceptores periféricos* (cuerpos carotídeos).

Difusión:

En la altura la difusión es más lenta porque la diferencia de presión a un lado y otro es menor. En la altura los tiempos de difusión son más lentos por ende hay un llenado de oxígeno más lento.

Relación ventilación perfusión: En un ser humano sano la diferencia $PA-aO_2$ es de 6 a 10 mmHg, esto es así ya que de manera natural en los pulmones hay alveolos mal ventilados por cuyo capilar la sangre circula, pero no se oxigena. Dichos alveolos cumplen una función de reserva. La PaO_2 es menos que la PAO_2 porque la sangre arterial es una mezcla de sangre que se ha oxigenado y otra que no. En la altura hay menos desproporción entre la ventilación y la perfusión esto se puede deber a la vasoconstricción de la arteria pulmonar en respuesta de la hipoxia que dirige la sangre a las zonas mejor ventiladas.

Gases arteriales: Vamos a recordar unos conceptos para no confundirlos PaO_2 y $PaCO_2$ son las *presiones de los gases en la sangre*, a diferencia de PAO_2 y $PACO_2$ que corresponden a la representación de dichos gases en el aire alveolar. Cuando nos encontramos a nivel del mar la PaO_2 del ser humano sano es de 75-100 mmHg y la $PaCO_2$ es de 40 mmHg estas presiones parciales van a ir disminuyendo a medida que se gane altura. Ej. en la Cumbre del Everest la PaO_2 es de 29mmHg y la $PaCO_2$ es de 7mmHg a una altura aproximada de 8840 metros.

Para que el PH de la sangre se mantenga constante tiene que existir una proporción adecuada entre el anhídrido carbónico CO_2 y el ion bicarbonato CO_3H^- . La hipocapnia hace que la sangre se torne mas alcalina, entonces esta alcalosis es apagada por los riñones mediante la eliminación de iones de CO_3H^- por la orina. En la media montaña esta compensación renal es total en menos de 24 hs. En la alta montaña este proceso tarda más y no siempre se puede compensar totalmente de manera que el organismo este en una cierta alcalosis respiratoria PH 7,47 a 4500 m. se cree que por encima de los 6500 m la hipoxia dificulta la eliminación de iones de CO_3H^- por los riñones. Por ende, se entra en una alcalosis respiratoria no compensada que puede ser sorprendentemente alta.

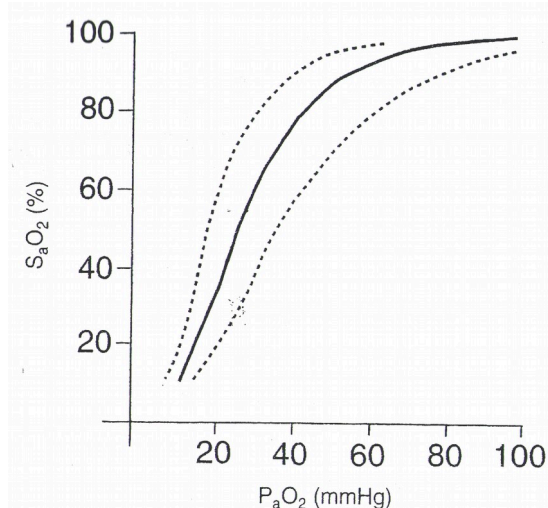
Cuando un montañista se aclimata a la altura aumenta el número de glóbulos rojos (eritrocito o hematíes). Se debe a que la hipoxia estimula a las células de los riñones a generar mayor cantidad de eritropoyetina, y esta actúa sobre la medula ósea haciendo que se produzca más hematíes. Denominando a este fenómeno poliglobulina o policitemia, o sea aumentan los transportadores.

Durante los dos primeros días en altitud aparecen reticulocitos (glóbulos rojos inmaduros) en la sangre, ya estaban formados en la medula ósea. Los que

aparecen en los días posteriores son de nueva formación, como consecuencia del aumento de glóbulos rojos se consume hierro para la síntesis de hemoglobina, podemos ver que en sangre hay una disminución del hierro y la ferritina. La policitemia es un fenómeno que tarda semanas. Durante las primeras horas en altitud también se observan un aumento del hematocrito, que no es debido a que haya más hematíes sino a que la sangre está más concentrada por la pérdida de líquido en la orina.

Saturación arterial de oxígeno

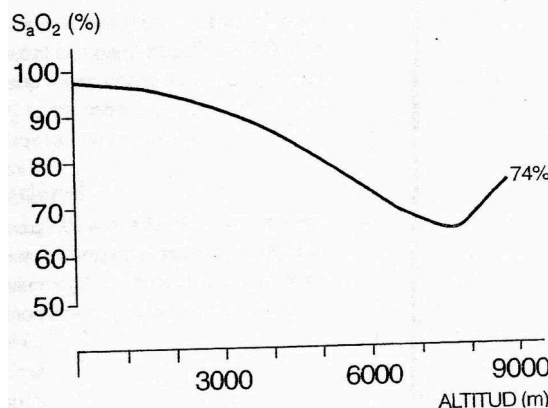
Se sabe que existe una relación entre la SaO_2 de la hemoglobina y la presión parcial de oxígeno de la sangre arterial. Puesto que se conoce como disminuye la PaO_2 con la latitud podríamos calcular como disminuye la SaO_2 para cada altitud.



Línea continua: relación entre la saturación de la hemoglobina y la presión parcial de oxígeno disuelto en el plasma en las condiciones que se dan habitualmente en la sangre humana al nivel del mar (a temperatura 37°C y pH 7,40). Líneas discontinuas: la curva de saturación de la hemoglobina se desplaza hacia la izquierda o hacia la derecha dependiendo de la temperatura de la sangre, el pH, la concentración intraeritrocitaria de 2,3 difosfoglicerato y la $PaCO_2$.

En la alta montaña suele haber una cierta alcalosis respiratoria, por lo tanto, los 2,3 difosfoglicerato la concentración aumenta con la altitud desde 5,5 mmol/l al nivel del mar hasta 7,2 mmol/l en la cumbre del Everest.

Los resultados calculados configuraban una curva de SaO_2 disminuía suavemente con la altitud a un valor mínimo hasta alcanzar los 7500m y luego volvía a ascender por el efecto de la alcalosis hasta llegar un valor del 74% en la cumbre del Everest (lo cual era poco verosímil). (Hernandez-Palazon, Tortosa-Serrano, Sanchez-Bautista, & Sanchez-Ortega, 1997)



Disminución de la saturación arterial de oxígeno (SaO_2) con la altitud, calculada a partir de los datos publicados por diferentes autores. La cifra del 74% correspondiente a la cumbre del Everest se calculó a partir de los datos obtenidos por la American Medical Research Expedition Everest (1981).

Aspectos cardiocirculatorios: Sabemos que el corazón de una persona en la altura late más rápido. Este aumento de la frecuencia cardíaca (Fc) ocurre tanto en reposo como con el ejercicio. Debido a esto aumenta inicialmente el gasto cardíaco (el corazón bombea un mayor volumen de sangre por unidad de tiempo) hasta llegar al máximo sobre el quinto día de estar en la altitud, sin embargo, durante los días siguientes el gasto cardíaco disminuye con la aclimatación hasta que, hacia el duodécimo día en altura su valor es el mismo que al nivel del mar. (Rodríguez, n.d.)

La exposición aguda a la hipoxia (inhalación de aire empobrecido en oxígeno) no modifica la fc máxima. Sin embargo, la exposición crónica a la hipoxia (actividad de alta montaña) disminuye la frecuencia cardíaca máxima proporcionalmente a la altitud alcanzada. Se ha dicho que esta reducción de la frecuencia cardíaca máxima puede ser un mecanismo de autoprotección del corazón para no aumentar las necesidades metabólicas por encima del aporte de oxígeno que le llega. Esta disminución de la frecuencia es paralela a la disminución del Vo_2 que se observa en la altitud.

En conjunto, los montañistas suelen tener tensiones arteriales más baja que las personas que viven al nivel del mar.

En la alta montaña predomina inicialmente la vasodilatación cerebral lo cual a lo largo de las horas y días siguientes se atenúa este predominio conforme disminuya la hipoxia y aumente la hipocapnia por el efecto del incremento de la respuesta ventilatoria a la hipoxia. La vasodilatación cerebral inducida por la hipoxia se considera una de las causas del signo del MAM. (Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Medicina, 2007)

Vasoconstricción arterial pulmonar en respuesta a la hipoxia: La hipoxia aumenta la presión arterial pulmonar ya que produce una vasoconstricción de las arteriolas y de la arteria pulmonar (de calibre inferior a 0,8 mm). El ejercicio en hipoxia aumenta aun más la presión arterial pulmonar.

Esto no depende del O_2 que hay en la sangre sino del que hay en los alveolos pulmonares.

La vasoconstricción no depende de un mecanismo reflejo ya que se puede dar también en pulmones aislados e incluso en fragmentos de la arteria pulmonar sometidos a una atmósfera hipóxica.

La función de este fenómeno es impedir el paso de la sangre a los capilares de los alveolos mal ventilados y, en consecuencia, mejorar la relación ventilación /perfusión. Si no fuese por la vasoconstricción arterial pulmonar en respuesta a la hipoxia, la PA-aO_2 sería mayor. Si bien en principio este fenómeno es beneficioso, en la alta montaña hay al menos dos enfermedades relacionadas con él, el *edema pulmonar de altura* al que son propensos los sujetos que responden a la hipoxia con una vasoconstricción pulmonar muy intensa y de distribución heterogénea.

Esto se debe a que durante los primeros días de exposición a la altura la hipertensión pulmonar, se debe a la vasoconstricción y, por lo tanto, es reversible. Es muy probable que la vasoconstricción pulmonar en respuesta a la hipoxia esta medida por una sustancia denominada endotelina I. Se dice que existe una correlación entre los niveles de endotelina I, la SaO_2 y la presión arterial pulmonar. Estos niveles plasmáticos de endotelina I alcanzan su máximo al cabo de una semana y luego disminuyen progresivamente a medida que la vasoconstricción va siendo sustituida por los cambios anatómicos fijos en las paredes de las arteriolas pulmonares.

Aspectos Endócrinos: La hipoxia aguda aumenta los niveles plasmáticos de adrenalina y noradrenalina. La hipoxia disminuye la secreción de aldosterona por las cápsulas suprarrenales, tiene efecto variable sobre la secreción de renina por el aparato yuxtaglomerular de los riñones e inhibe los receptores de la angiotensina II. El ejercicio intenso aumenta la secreción de renina y de aldosterona, por lo cual favorece la retención de agua y sodio. El efecto que tiene una estancia en la altura

sobre el eje renina-angiotensina-aldosterona depende del resultado conjunto de la hipoxia y el ejercicio físico.

La hipoxia aguda aumenta la secreción de la hormona tiroestimulante (TSH) por la hipófisis y de las hormonas triyodotironina (T3) y tiroxina (T4) por la glándula tiroides, pero durante un periodo largo en altura todas estas hormonas vuelven a sus valores normales. Parece que la hipoxia no modifica la producción de insulina por el páncreas. En la alta montaña se observa una disminución de insulina, esto se debe a que la absorción de glucosa por el intestino está limitada por la altitud.

Mal agudo de montaña:

Cuando por alguna ocasión no podemos adaptarnos a la altitud, aparece lo que se denomina M.A.M (Carod-Artal, Ezpeleta Echávarri, & Guerrero Peral, 2011)

Esta consiste en un conjunto de signos y síntomas que aparecen en la persona como el resultado de una inadecuada aclimatación (por ej. Puede ser un ascenso rápido). Esta patología solo se refiere a las consecuencias que aparecen por la hipobária de la altitud. (Carod-Artal et al., 2011)

Las manifestaciones clínicas de esta son: Cefaleas, Nauseas, Anorexia, Agotamiento, Trastornos del sueño

Se dice que el M.A.M aparece tras un período de latencia de 6 a 36 hs porque ese es el tiempo que suele tardar en aparecer la cefalea, que es el síntoma más significativo. La disnea nocturna relacionada con la respiración de Cheyne-Stokes suele darse durante los primeros días en altitud y desaparece con la aclimatación. Los síntomas aparecen durante las primeras 12 hs en el 65% de casos y entre las 12 y las 36 hs en el 34% de casos.

El M.A.M es frecuente encima de los 2500 m, se dice que aparece en el 30% de las personas expuestas bruscamente a la altura de 3000m y en el 75% de las expuestas a 4500m.

Una de las valoraciones subjetivas que se usa actualmente para valorar el estado de M.A.M es el test Lake Louis, es una escala de puntuación del mal de montaña. Consta de tres partes una consta de 5 síntomas evaluados por el paciente, otra son tres signos que evalúa el médico o el acompañante y por ultimo una que evalúa hasta que punto se reduce la actividad. Con una puntuación igual o superior a 3 en la escala es el criterio de diagnostico de M.A.M. (Carod-Artal et al., 2011)

MAL AGUDO DE MONTAÑA (MAM)
SCORE DE "LAKE LOUISE"
(INTERNATIONAL HYPOXIA SYMPOSIUM. 1991.
CHATEAU LAKE LOUISE, CANADA)

SINTOMAS	PUNTAJE
CUESTIONARIO DE AUTOEVALUACION PARA MAM	
CEFALEA	0 AUSENTE 1 LEVE 2 MODERADA 3 SEVERA
SINTOMAS GASTROINTESTINALES	0 BUEN APETITO 1 POCO APETITO O NAUSEAS 2 NAUSEAS MODERADAS O VOMITOS 3 NAUSEAS O VOMITOS SEVEROS O INCAPACITANTES
FATIGA Y/O DEBILIDAD	0 AUSENCIA DE CANSANCIO 1 FATIGA O DEBILIDAD LEVE 2 FATIGA O DEBILIDAD MODERADA 3 FATIGA O DEBILIDAD SEVERA O INCAPACITANTE
VERTIGO / MAREOS	0 AUSENTES 1 VERTIGO LEVE 2 VERTIGO MODERADO 3 VERTIGO SEVERO INCAPACITANTE
ALTERACIONES DEL SUEÑO	0 DUERME COMO HABITUALMENTE 1 NO DUERME COMO HABITUALMENTE 2 SE DESPIERTA MUCHAS VECES, SUEÑO NOCTURNO ESCASO 3 NO PUEDE DORMIR
PUNTAJE OBTENIDO=	

DETERMINANTES CLINICOS DE MAM (SÓLO PARA SER REALIZADO POR MÉDICOS, GUÍAS DE MONTAÑA, GUARDAPARQUES, PARAMÉDICOS, ENFERMEROS, INSTRUCTORES DE ANDINISMO O PERSONAS FAMILIARIZADAS CON LA EVALUACIÓN DE ESTOS SÍNTOMAS)	
ALTERACIONES MENTALES	0 AUSENTES 1 LETARGO / SOPOR 2 DESORIENTADO / CONFUSO 3 ESTUPOR / SEMICONCIENCIA 4 COMA
ATAXIA (CAMINAR SOBRE UNA LINEA HACIENDO COINCIDIR TACO CON PUNTA)	0 MARCHA NORMAL 1 MARCHA TAMBALEANTE 2 PISADAS FUERA DE LA LINEA 3 CAIDAS AL SUELO 4 INCAPACIDAD PARA PARARSE
EDEMAS PERIFERICOS	0 AUSENTES 1 EN UNA LOCALIZACION 2 DOS O MÁS LOCALIZACIONES
PUNTAJE OBTENIDO=	

PUNTAJE TOTAL=

NOTA: CON LA SUMA DE LOS PUNTOS DE LA AUTOEVALUACION Y DE LOS DATOS CLINICOS, SE OBTIENE UN PUNTAJE TOTAL CON EL QUE SE PUEDE CLASIFICAR EL MAM EN LEVE, MODERADO Y GRAVE.

-M.A.M. LEVE: DE 1 A 3 PUNTOS.

-M.A.M. MODERADO: DE 4 A 6 PUNTOS.

-M.A.M. GRAVE: 7 PUNTOS O MÁS.

El M.A.M puede desencadenar en dos de las patologías más temidas por los montañistas edema cerebral de altura (ECA) y edema pulmonar de altura (EPA)

Edema pulmonar de altura

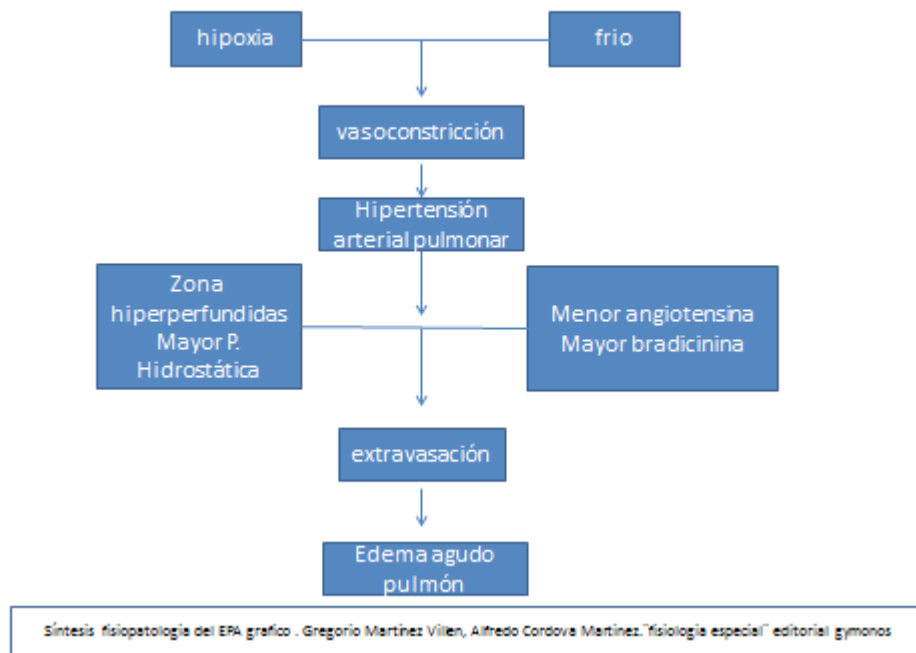
La hipoxia produce una vasoconstricción arteriolar. En el pulmón, en aumento de la resistencia vascular genera una situación de hipertensión arterial. Todo este proceso causa importantes modificaciones hemodinámicas, con apariencia de zonas hiperperfundidas. En las cuales aumenta el volumen sanguíneo en el lecho capilar elevando la presión hidrostática y como consecuencia se genera una

extravasación de plasma y de hematíes hacia el intersticio. El descenso en hipoxia del enzima conversor de la angiotensina junto con el incremento de la bradicina circulante acrecientan la permeabilidad vascular.

La aparición de micro embolias aéreas en las arteriolas pulmonares, derivadas de la caída de la presión de oxígeno en el aire respirado.

El E.P.A suele constituir una fase extrema en el agravamiento del M.A.M, el tiempo de aparición oscila entre horas y días. A menudo el inicio del EPA y su empeoramiento suele ocurrir sobre reposo nocturno.

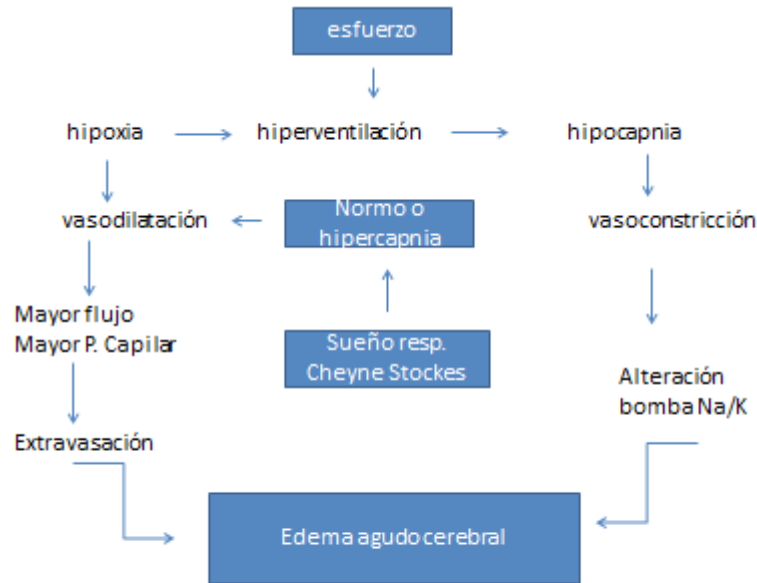
Algunas manifestaciones clínicas más destacadas del EPA cefaleas, taquipnea, taquicardia, disnea de esfuerzo, golpes de tos no productivas y fatiga anormal. Esta patología es extremadamente grave y pone en riesgo de mortabilidad.



Edema cerebral altura: Ésta patología constituye una situación de máximo empeoramiento del mal agudo de montaña. Es más frecuente en la barrera de los 5000 msnm. Se da en el transcurso de pocas horas después de de ascensiones muy rápidas, o durante los primeros cinco a siete días en casos de mala aclimatación.

En el distingues dos procesos: uno vasogenico y otro citotoxico. En el primero domina la vasodilatación por hipoxia. El reposo nocturno y la respiración de Cheyne-Stokes durante el sueño disminuyen la taquipnea y la hipocapnia, dilatando los vasos. Este aumenta el flujo y la presión capilar, con la extravasación y edema intersticial. La teoría citotóxica es argumentada con el fallo celular de la bomba de sodio – potasio.

Los signos y síntomas van desde cefaleas, náuseas, vómitos, alteraciones del estado mental y motor, ataxia, etc.



Síntesis fisiopatología del ECA gráfico . Gregorio Martínez Villén, Alfredo Cordova Martínez "fisiología especial" editorial gymnos

Con lo expuesto anteriormente tenemos como objetivo analizar la relación entre la frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno y la escala subjetiva de Lake Louis, en el proceso de estadía de 4 días a altura de 3200 metros.

Como hipótesis podemos decir "Los valores de saturación de O₂ en sangre menores al 80 % luego de 4 días de exposición a la altura provocan la aparición de los signos y síntomas de MAM".

Se realizará un estudio de tipo Descriptivo y el diseño utilizado será NO Experimental. Dicho estudio es el que más se ajusta este tipo de investigación debido a que es una recolección de datos de saturación de oxígeno en la altura de alumnos.

Objetivo:

1. Identificar las variaciones de saturación de oxígeno y frecuencia cardíaca, en los alumnos durante la estadía en la altura de 4 días.
2. Comparar los valores obtenidos con relación a los valores necesarios para realizar la actividad
3. Describir como es la relación de la saturación de O₂ en sangre y el Score de Lake Louis

Metodología y métodos

Universo: Escuela de Guías del ISAS

Muestra: alumnos de la carrera guías de montaña

Unidad de análisis: 36 varones y mujeres de la carrera de guías de montaña.

La unidad de análisis son los alumnos toda la carrera de guías de montaña de nuestro instituto, donde nos encontramos con edades variables que van desde que terminan el secundario (18- 19 años) hasta un promedio de 40 años, todos ellos se encuentran con realidades distintas, desde lo físico, hay quienes realizan actividad física diariamente como quienes no, al igual que contamos con estudiantes con experiencia en la montaña y otros que recién se inician en este ámbito.

La población es variada, la escuela no exige un entrenamiento determinado, debido a que es una institución de formación. Contaremos con una muestra aproximada de 36 alumnos a evaluar.

Instrumento de Recolección de datos:

Descripción de la Prueba:

La prueba consta en medir la saturación de oxígeno en sangre a través de un método no invasivo que es el saturómetro portátil. (modelo Finger Pulse Oxígeno Ver.3.2C)

El oxímetro de pulso es un método de laboratorio no invasivo y una herramienta de diagnóstico para el seguimiento continuo de la SaO₂ y frecuencia cardíaca.

Esta oximetría es definida como *la determinación del porcentaje de saturación de oxígeno en sangre con ayuda de métodos fotoeléctricos*. Su uso se ha extendido en los últimos años en pruebas de esfuerzo en clínica, y en menor medida en el ámbito de la medicina deportiva.

Forma de realizar la medición:

- 1- Buscar el dedo índice de la persona a medir, es importantes que el mismo esté limpio y a temperatura normal.
- 2- Encender el oxímetro
- 3- Colocarlo en el dedo índice
- 4- Al poco tiempo nos mostrara en pantalla el valor en % de SaO₂ y la Fc de la persona, hay que dejarlo en el dedo hasta que se establezca la barra lateral.

A demás se usará la escala subjetiva de Lake Louise para determinar si la muestra presente o no síntomas y signos de M.A.M.

MAL AGUDO DE MONTAÑA (M.A.M.)
SCORE DE "LAKE LOUISE"
(INTERNATIONAL HYPOXIA SYMPOSIUM. 1991.
CHATEAU LAKE LOUISE, CANADA).

SINTOMAS	PUNTAJE
CUESTIONARIO DE AUTOEVALUACION PARA M.A.M.	
CEFALEA	0 AUSENTE 1 LEVE 2 MODERADA 3 SEVERA
SINTOMAS GASTROINTESTINALES	0 BUEN APETITO 1 POCO APETITO O NAUSEAS 2 NAUSEAS MODERADAS O VOMITOS 3 NAUSEAS O VOMITOS SEVEROS O INCAPACITANTES
FATIGA Y/O DEBILIDAD	0 AUSENCIA DE CANSANCIO 1 FATIGA O DEBILIDAD LEVE 2 FATIGA O DEBILIDAD MODERADA 3 FATIGA O DEBILIDAD SEVERA O INCAPACITANTE
VERTIGO / MAREOS	0 AUSENTES 1 VERTIGO LEVE 2 VERTIGO MODERADO 3 VERTIGO SEVERO INCAPACITANTE
ALTERACIONES DEL SUEÑO	0 DUERME COMO HABITUALMENTE 1 NO DUERME COMO HABITUALMENTE 2 SE DESPIERTA MUCHAS VECES, 3 SUEÑO NOCTURNO ESCASO NO PUEDE DUERMIR
PUNTAJE OBTENIDO=	

DETERMINANTES CLINICOS DE M.A.M.	
ALTERACIONES MENTALES	0 AUSENTES 1 LETARGO / SOPOR 2 DESORIENTADO / CONFUSO 3 ESTUPOR / SEMICONCIENCIA 4 COMA
ATAXIA (CAMINAR SOBRE UNA LINEA HACIENDO COINCIDIR TACO CON PUNTA)	0 MARCHA NORMAL 1 MARCHA TAMBALEANTE 2 PISADAS FUERA DE LA LINEA 3 CAIDAS AL SUELO 4 INCAPACIDAD PARA PARARSE
EDEMAS PERIFERICOS	0 AUSENTES 1 EN UNA LOCALIZACION 2 DOS O MÁS LOCALIZACIONES
PUNTAJE OBTENIDO=	

PUNTAJE TOTAL=

NOTA: CON LA SUMA DE LOS PUNTOS DE LA AUTOEVALUACION Y DE LOS DATOS CLINICOS, SE OBTIENE UN PUNTAJE TOTAL CON EL QUE SE PUEDE CLASIFICAR EL MAM EN LEVE, MODERADO Y GRAVE.

- M.A.M. LEVE: DE 1 A 3 PUNTOS.
- M.A.M. MODERADO: DE 4 A 6 PUNTOS.
- M.A.M. GRAVE: 7 PUNTOS O MÁS.

Estas pruebas y mediciones se realizarán en distintos momentos durante la permanencia en altura.

Protocolo de medición (momentos):

1. A nivel del mar, en buenos aires.
2. Llegada a los 3200m.s.n.m
3. Después de las 6 hs de estadía a esa altura
4. A primera hora el día siguiente (8 hs) y de ahí en más cada un periodo de 12 hs hasta el descenso de la altura tomando la última muestra a nivel del mar

Medición y análisis

Con los datos obtenidos determinamos:

- % de Sao2 en nuestra población y frecuencia cardiaca
- grado de adaptación a la altura de los individuos (comparando los resultados de individuales de la escala de Lake Louis y las mediciones SaO2)
- si la planificación de este proceso de adaptación a la altura es adecuada, y en función de los resultados continuar o mejorar las planificaciones de próximas salidas a la altura.

ANALISIS ESTADISTICO

Para analizar la evolución fisiológica de una población de 36 alumnos de la escuela de guías de montaña durante un trabajo de campo a 3200 m.s.n.m. en Las Cuevas, Mendoza se realizaron mediciones de las siguientes variables: Frecuencia cardíaca y Saturación de oxígeno en sangre.

Las mediciones se describen detalladamente en *Mediciones y Métodos*.

Se utilizaron los siguientes métodos estadísticos:

Métodos descriptivos, en donde se estimo las medias, modas y rango.

El estadígrafo F para comparar varianzas y el estadígrafo t de student para la comparación de medias.

Análisis de los métodos descriptivos

Saturación de Oxígeno

Rango y Media:

A partir de la tabla (1) se observaron valores mínimos que oscilan entre 96 en Buenos Aires a 82 en Las Cuevas, siendo estos valores esperados, ya que siguiendo el marco teórico la saturación debería disminuir con el incremento de la altura.

Los valores máximos oscilan entre 99 en Buenos Aires y 93 en Las Cuevas, en donde se repite la tendencia para los mínimos.

Los valores medios estadísticos varían de 97 en Buenos Aires a 88 en Las Cuevas.

A raíz de estos valores, podemos afirmar que el rango de saturación de oxígeno es el esperado para una población sin patologías pulmonares.

Tabla 1

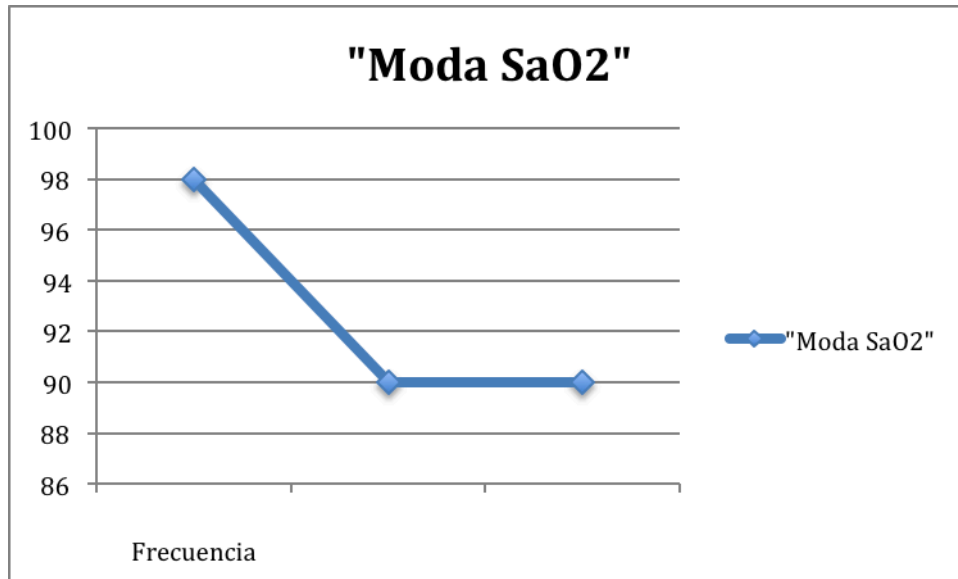
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza	Curtosis	
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico
bs_as	36	96,00	99,00	97,3611	,89929	,809	-1,121	,768
sa_cuevas	36	86,00	95,00	91,222	2,24386	5,035	,176	,768
sa_cuevas7	36	82,00	93,00	88,611	2,93041	8,587	-,502	,768
fc_bs_as	36	52,00	120,00	82,2500	12,87828	165,850	1,644	,768
fc_cuevas	36	59,00	110,00	82,9722	11,61646	134,942	,008	,768
fc_cuevas7	36	71,00	124,00	102,889	12,91462	166,787	-,214	,768
N válido (según lista)	36							

Moda

A partir de la moda establecemos los valores de Saturación de Oxígeno que más frecuencia tienen.

Los valores obtenidos se observan en el grafico 1 y permiten concluir que la SaO₂ disminuye con la altura, siendo el valor más alto el que se midió en Buenos Aires (98 % SaO₂).

Grafico 1



Estadígrafos:

Comparación de Varianzas

Planteo test del Estadígrafo F: $\frac{S_A^2}{S_B^2} \approx F_{(n_A-1)(n_B-1)}$

Planteo un test de Hipótesis: $H_o : \sigma_A^2 = \sigma^2$

$$H_A : \sigma_A^2 > \sigma^2$$

(Planteo una cola, ya que la distribución F es asimétrica)

Calculo el estadígrafo F: $((\text{SaO}_2 \text{ Buenos Aires})^2 / (\text{SaO}_2 \text{ Las Cuevas})^2) = 0,809^2 / 8,587^2 = 0,008$

Usando el Excel calculo DISTR.F.INV $(\alpha; n_A - 1; n_B - 1)$

Reemplazando con los datos DISTR.F.INV $(0,05; 36; 36) = 0,5737$

Entonces acepto la hipótesis nula que al 95% de confianza las varianzas son estadísticamente homogéneas.

Comparación de Medias

Analizo las medias de cada población con una media teórica para cada situación

Planteo test de Hipótesis: $H_o : \mu_1 = \mu$
 $H_A : \mu_1 \neq \mu$

Asumo $\mu = 98$

Calculo los estadígrafos t:

$$t_A = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n-1}}} = 0,64 / 0,13 = 4,92$$

Reemplazando con los datos DISTR.F.INV (0,025; 35) = **2,03**

Entonces rechazo la hipótesis nula que al 95% de confianza las varianzas son estadísticamente homogéneas

Asumo $\mu = 87$

$$\text{Las Cuevas7} \quad t_B = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n-1}}} = 1,61 / 1,451 = 1,109$$

Usando Excel calculo: DISTR.T.INV (α ; $n - 1$)

Reemplazando con los datos DISTR.F.INV (0,025; 35) = **2,03**

Entonces acepto la hipótesis nula que con un nivel de significación de 0,05% las medias son estadísticamente homogéneas.

Analizo las medias de las poblaciones Buenos Aires – Las Cuevas 7:

Planteo un nuevo test de Hipótesis:

$$H_o : \mu_1 = \mu$$

$$H_A : \mu_1 \neq \mu$$

Planteo test de Student para varianzas distintas:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \approx tv, \quad t = 8,75 / 1,43 = 6,11$$

$$\text{Calculo los grados de libertad: } v = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2} \right)^2}{\frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} \right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{S_2^2}{n_2} \right)^2}{n_2 - 1}} - 2 = 33,56$$

Usando Excel calculo: tv : DISTR.T.INV (α ; v)

Reemplazando con los datos tv : DISTR.F.INV (0,05; 68) = **2,08**

Entonces rechazo la hipótesis nula que al 95% de confianza las medias son estadísticamente homogéneas.

A partir de los estadígrafos aplicados a la SaO_2 , podemos observar que las medias no son comparables entre poblaciones, lo cual es esperado ya que la SaO_2 varía en función de la altura.

Frecuencia Cardíaca

Rango y Media:

A partir de la tabla 1 se observaron valores mínimos que oscilan entre 52 en Buenos Aires a 71 en Las Cuevas, siendo estos valores esperados, ya que

siguiendo el marco teórico la frecuencia cardiaca debería aumentar con el incremento de la altura.

Los valores máximos oscilan entre 120 en Buenos Aires y 124 en Las Cuevas, en donde se repite la tendencia para los mínimos.

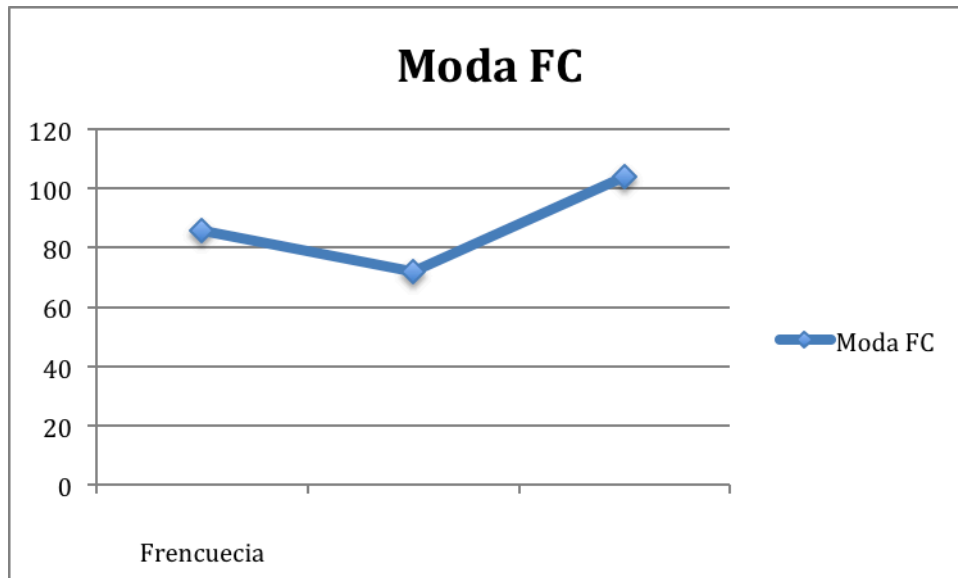
Los valores medios estadísticos varían de 82 en Buenos Aires a 102 en Las Cuevas.

A raíz de estos valores, podemos afirmar que la frecuencia cardiaca aumenta con la altura, lo cual se condice con el marco teórico.

Moda

A partir de la moda establecemos los valores de Frecuencia Cardiaca que más frecuencia tienen.

Los valores obtenidos se observan en el grafico 2 y permiten concluir que la F.C. aumenta con la altura, siendo el valor más alto el que se midió en Las Cuevas (104 F.C.).



Estatígrafos:

Comparación de Varianzas

Planteo test del Estadígrafo F: $\frac{S_A^2}{S_B^2} \approx F_{(n_A-1)(n_B-1)}$

Planteo un test de Hipótesis: $H_o : \sigma_A^2 = \sigma^2$

$H_A : \sigma_A^2 > \sigma^2$

(Planteo una cola, ya que la distribución F es asimétrica)

Calculo el estadígrafo F: $((F.C. \text{ Buenos Aires})^2 / (F.C. \text{ Las Cuevas})^2) = 165,850^2 / 166,787^2 = 0,988$

Usando el Excel calculo $DISTR.F.INV(\alpha; n_A - 1; n_B - 1)$

Reemplazando con los datos DISTR.F.INV (0,05; 36; 36) = **0,5737**

Entonces rechazo la hipótesis nula que al 95% de confianza las varianzas son estadísticamente homogéneas.

Comparación de Medias

Planteo un nuevo test de Hipótesis:

$$H_o : \mu_1 = \mu$$

$$H_A : \mu_1 \neq \mu$$

Planteo test de Student para varianzas distintas:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \approx tv, \quad t = (82,25 - 102,89) / 39,20 = 0,526$$

Calculo los grados de libertad:

$$v = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2} \right)^2}{\frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} \right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{S_2^2}{n_2} \right)^2}{n_2 - 1}} - 2 = 70 - 2 = 68$$

Usando Excel calculo: $tv : \text{DISTR.T.INV}(\alpha; v)$

Reemplazando con los datos $tv : \text{DISTR.F.INV}(0,05; 68) = \mathbf{-1.66}$

Entonces rechazo la hipótesis nula que al 95% de confianza las medias son estadísticamente homogéneas.

A partir de los estadígrafos aplicados a la F.C., podemos observar que las medias no son comparables entre poblaciones, lo cual es esperado ya que la F.C. varía en función de la altura.

Comportamiento de los valores de Frecuencia cardiaca:

Cuevas 1:

De un total de 36 evaluados:

2,7% alcanzo su FC Max

Cuevas 2:

De un total de 36 evaluados:

25 % alcanzo su FC Max

Cuevas 3:

De un total de 36 evaluados:

52,7 % alcanzo su FC Max

Cuevas 4:

De un total de 36 evaluados:

0 % alcanzo su FC Max

Cuevas 5:

De un total de 36 evaluados:

13,08 % alcanzo su FC Max

Cuevas 6:

De un total de 36 evaluados:

2,77 % alcanzo su FC Max

Cuevas 7:

De un total de 36 evaluados:

2,77 % alcanzo su FC Max

Comportamiento de los valores de Saturación de O2:

Cuevas 2:

De un total de 36 evaluados:

55,55 % tuvieron su saturación más baja

Cuevas 3:

De un total de 36 evaluados:

16,6 % tuvieron su saturación más baja

Cuevas 4:

De un total de 36 evaluados:

8,33 % tuvieron su saturación más baja

Cuevas 5:

De un total de 36 evaluados:

5,55 % tuvieron su saturación más baja

Cuevas 6:

De un total de 36 evaluados:

8,33 % tuvieron su saturación más baja

Cuevas 7:

De un total de 36 evaluados:

19,44 % tuvieron su saturación más baja

Comportamiento de los valores de M.A.M

Cuevas 1:

De un total de 36 evaluados:

5,55% presentaron síntomas de M.A.M

De este porcentaje el 100 % M.A.M leve

Cuevas 2:

De un total de 36 evaluados:

38,88 % presenta síntomas de MAM

De este porcentaje el 85,71 % MAM leve y el 14,28 % MAM moderado

Cuevas 3:

De un total de 36 evaluados:

55,55 % presenta síntomas de MAM

De este porcentaje el 90 % MAM leve y el 10 % MAM moderado

Cuevas 4:

De un total de 36 evaluados:

2,77 % presenta síntomas de MAM

De este porcentaje el 100 % MAM leve

Cuevas 5:

De un total de 36 evaluados:

8,33 % presenta síntomas de MAM

De este porcentaje el 100 % MAM leve

Cuevas 6:

De un total de 36 evaluados:

16,66 % presenta síntomas de MAM

De este porcentaje el 83,33 % MAM leve y el 16,66 % MAM moderado

Cuevas 7:

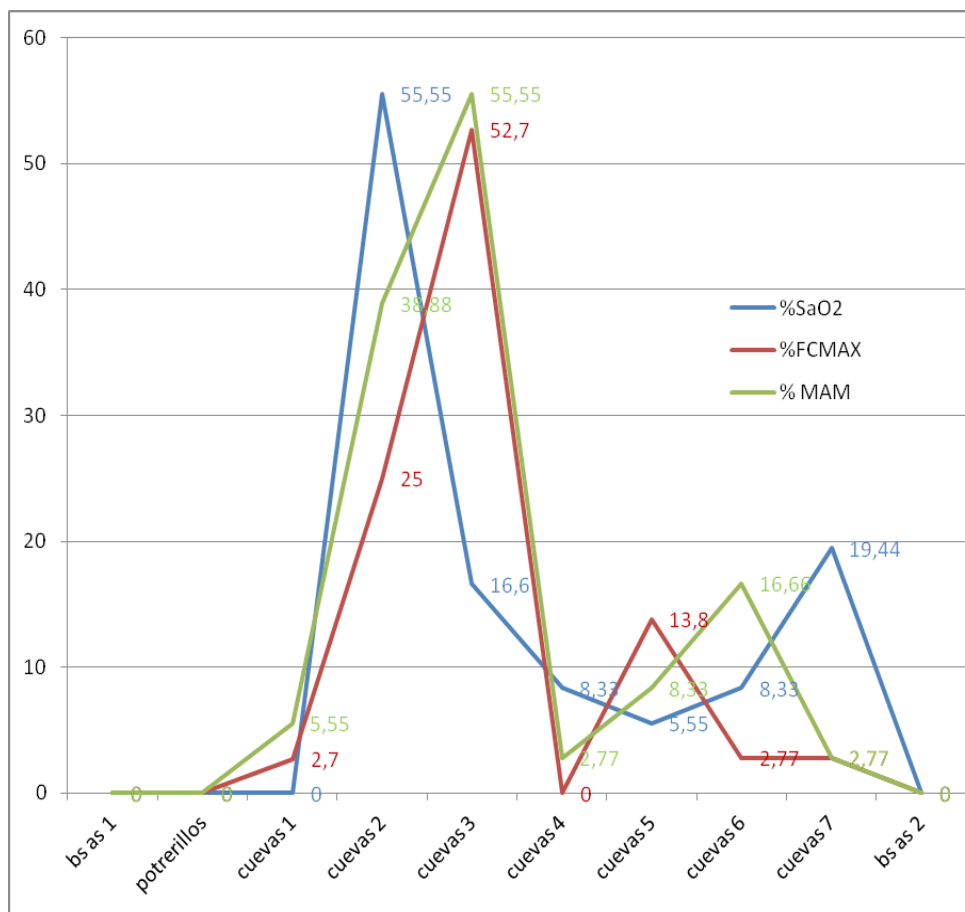
De un total de 36 evaluados:

2,77 % presenta síntomas de MAM

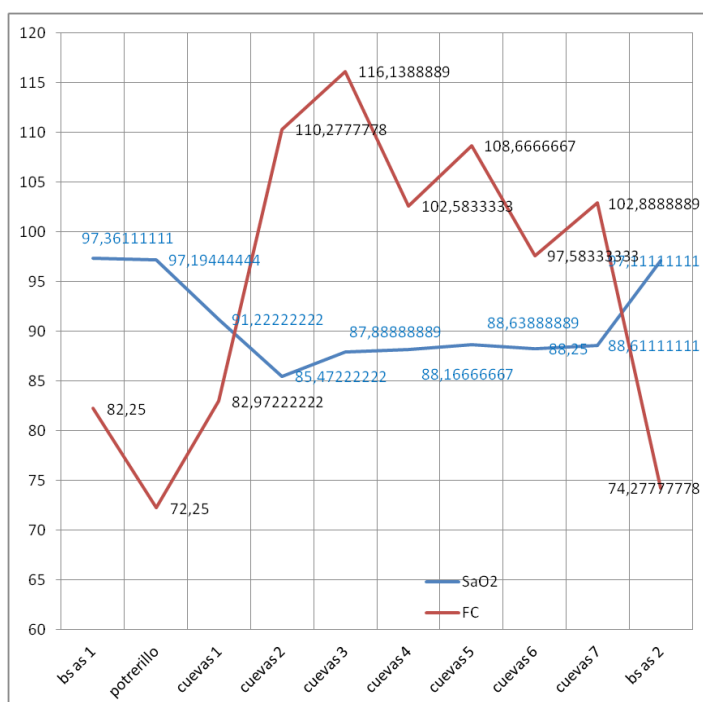
De este porcentaje el 100 % MAM leve

	% SaO2min	%FCMAX	% MAM
bs as 1	0	0	0
potrerillos	0	0	0
cuevas 1	0	2,7	5,55
cuevas 2	55,55	25	38,88
cuevas 3	16,6	52,7	55,55
cuevas 4	8,33	0	2,77
cuevas 5	5,55	13,8	8,33
cuevas 6	8,33	2,77	16,66
cuevas 7	19,44	2,77	2,77
bs as 2	0	0	0

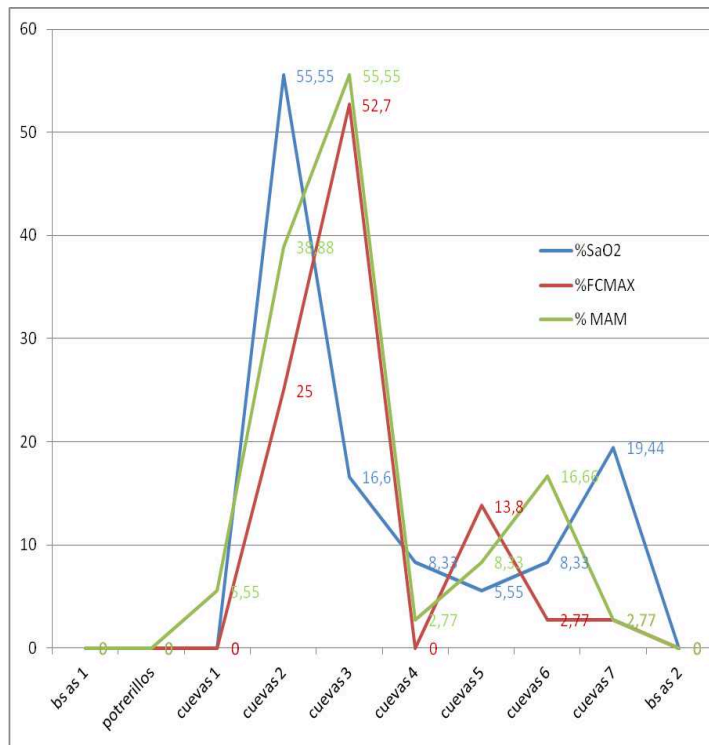
Grafico 3 Porcentajes de SaO2, FCmax y MAM



Grafica 4 de promedios de SaO2 Y FC día por día



Grafica 5 de porcentaje de SaO2, FC y M.A.M de acuerdo a los porcentajes más altos durante los días en el que se dieron



En cuanto a los síntomas de MAM podemos decir:

1º día: 16 de los evaluados manifestaron síntomas como cefaleas y problemas gastrointestinales

2º día: hubo 14 personas con síntomas, entre ellos: cefaleas, problemas gastrointestinales, vértigo, mareos, alteraciones del sueño.

3º día: el número de afectados por la altura disminuye siendo 6 los que presentan síntomas como cefaleas, problemas gastrointestinales, debilidad.

De acuerdo a las graficas que obtuvimos luego de las evaluaciones vemos que los resultados coinciden con lo que manifiesta el marco teórico.

Entre la 1º noche y mañana siguiente se dan los valores de saturación de oxígeno más baja, coincidente con la bibliografía que dice que durante las primeras 6 – 12 hs se dan las primeras adaptaciones de nuestro organismo en altura, como respuesta a la hipoxia.

También coinciden los picos de FC máx. unos de los signos más importantes de las primeras adaptaciones, respuesta ventilatória y cardíaca.

Haciendo una comparación de los porcentajes de la SaO2, FC máx. y síntomas de MAM coinciden los tres los valores máximos entre la 1º noche en altura y la mañana siguiente.

De acuerdo al Score de Lake Louis entre la 1º noche y la 1º mañana se dan la mayor cantidad de evaluados con síntomas de MAM. Siendo el mayor porcentaje

en la mañana con una cantidad de 20 alumnos con síntomas sobre un total de 36 evaluados.

Además, en estas mediciones el valor más alto de MAM fue moderado.

CONCLUSIONES:

Teniendo en cuenta el tiempo de exposición a la altura del grupo evaluado y haciendo referencia a la bibliografía consultada bajo los efectos de la baja presión atmosférica sobre el organismo observamos que aparecen signos y síntomas de respuestas fisiológicas agudas que se producen durante una estancia menor a los 3 días, así como también algunas respuestas crónicas que se dan a partir del 3º día.

Viendo los datos obtenidos y realizando una interpretación de los mismos, podemos concluir que los signos y síntomas de MAM no siempre coinciden con una saturación de oxígeno baja por lo menos para esta altura y este grupo en particular.

Lo cual nos hace entender que la saturación de oxígeno es un parámetro de como se está dando la adaptación, pero no siempre nos indica que hay MAM, hablando como valores netos de saturación de oxígeno, por ejemplo: una persona puede tener 84% de saturación de oxígeno y no tener signos y síntomas de MAM, por el contrario, otra persona puede tener 90 % de saturación de oxígeno y si manifestar signo y síntomas de MAM.

Quizás a esta altura la saturación de oxígeno con valor mínimo puede ser indicativo de que se produce la adaptación, pero no es indicativo de MAM.

Durante los periodos de reposo (descanso en la noche) se dan las menores Fc

Al tener pocas noches de exposición a la altura vemos que el proceso de adaptación a la hipoxia se va cumpliendo, pero en algunos casos sería necesario 1 o 2 días más para estar físicamente óptimo para realizar actividades.

Pensando en las próximas salidas al terreno sería conveniente aclimatar a 2800 msnm la 1º noche para luego ascender a 3200 msnm y provocar un mejor proceso de adaptación

Quizás de esta forma los porcentajes de aparición de síntomas de MAM en la 1º y 2º noche sean menores.

Podemos comprobar que durante la 1º noche y la 1º mañana hay más del 40 % de la muestra posee síntomas de MAM.

Haciendo una comparación de nuestra muestra con la tabla del Anexo IV podemos concluir que la mayoría de los evaluados al cabo del 2do día se encontraba dentro de los valores de referencia de saturación de oxígeno para esa altura.

No obstante, que estén dentro de estos parámetros de referencia no quita que algunos presenten algún síntoma de MAM.

Bibliografía

- Botella de Maglia, J., & Compte Torrero, L. (2005). Saturación arterial de oxígeno a gran altitud. Estudio en montañeros no aclimatados y en habitantes de alta montaña. *Medicina Clínica*, 124(5), 172–176. <https://doi.org/10.1157/13071480>
- Carod-Artal, F. J., Ezpeleta Echávarri, D., & Guerrero Peral, A. L. (2011). Propiedades métricas de la versión española del Cuestionario de Mal de Altura del Lago Louise. *Neurología*, 26(6), 337–342. <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2010.12.014>
- Hernandez-Palazon, J., Tortosa-Serrano, J. A., Sanchez-Bautista, S., & Sanchez-Ortega, J. L. (1997). [Effects of precurarization on oxygen arterial saturation measure with pulse oximetry and neuromuscular function]. *Efectos de La Precurarizacion Sobre La Saturacion Arterial de Oxígeno Medida Por Pulsioximetría Y La Funcion Neuromuscular.*, 44(8), 299–301. Retrieved from <http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=med4&NEWS=N&AN=9424681>
- Hurtado, A., & Hurtado, A. (2014). El Hombre en las Grandes Alturas Habitadas. *Anales de La Facultad de Medicina*, 38(1), 9. <https://doi.org/10.15381/anales.v38i1.9108>
- Redondo, D. A. (n.d.). ñdímatación: Mecanismos bioológicos u técnicas fiara conseguiria. Retrieved from http://appswl.elsevier.es/watermark/ctl_servlet?_f=10&pident_articulo=13104393&pident_usuario=0&pcontactid=&pident_revis ta=277&ty=150&accion=L&origen=bronco&web=www.apunts.org&lan=es&fichero=277v10n037a13104393pdf001.pdf&an uncioPdf=ERROR_publi_pdf
- Rodríguez, V. (n.d.). Respuesta cardíaca en reposo y durante el esfuerzo submáximo, en el proceso de aclimatación a la altura. implicaciones para el entrenamiento heart rate response during rest and submaximal effort in the altitude process of acclimatization. training implications, 2(7), 235–243. Retrieved from <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista7/respuesta.htm>
- Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Medicina, G. F. . T. V. (2007). *Med. Revista Med* (Vol. 15). Universidad Militar Nueva Granada. Retrieved from <http://www.redalyc.org/html/910/91015110/>
- Mulas Alejandro Lucia, "Ejercicio físico en la altura. Aspectos teóricos y prácticos del entrenamiento".
- Gregorio Martínez Villen; Alfredo Cordova Martinez, 2001, colección de biomedicina aplicada al alto rendimiento deportivo "Fisiología Especial", editorial Gymnos, Madrid
- Javier Botella de Maglia, 2002, mal de altura. "Prevención y Tratamiento". Ed. Desnivel, S.L. Madrid
- Wilmore, Jack H, Costil, David, L. Editorial Paidotribo 5º Edicion. "Fisiologia del esfuerzo y del deporte"

Anexos I

Tabla 1

Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza	Curtosis	
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico
bs_as	36	96,00	99,00	97,3611	,89929	,809	-1,121	,768
sa_cuevas	36	86,00	95,00	91,2222	2,24386	5,035	,176	,768
sa_cuevas7	36	82,00	93,00	88,6111	2,93041	8,587	-,502	,768
fc_bs_as	36	52,00	120,00	82,2500	12,87828	165,850	1,644	,768
fc_cuevas	36	59,00	110,00	82,9722	11,61646	134,942	,008	,768
fc_cuevas7	36	71,00	124,00	102,8889	12,91462	166,787	-,214	,768
N válido (según lista)	36							

Frecuencias

Estadísticos

		bs_as	sa_cuevas	sa_cuevas7	fc_bs_as	fc_cuevas	fc_cuevas7
N	Válidos	36	36	36	36	36	36
	Perdidos	0	0	0	0	0	0
Moda		98,00	90,00	90,00	86,00	72,00	104,00

Tabla de frecuencia

bs_as

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	96,00	9	25,0	25,0	25,0
	97,00	6	16,7	16,7	41,7
	98,00	20	55,6	55,6	97,2
	99,00	1	2,8	2,8	100,0
	Total	36	100,0	100,0	

sa_cuevas

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	86,00	2	5,6	5,6	5,6
	88,00	2	5,6	5,6	11,1
	89,00	1	2,8	2,8	13,9
	90,00	9	25,0	25,0	38,9
	91,00	6	16,7	16,7	55,6
	92,00	6	16,7	16,7	72,2
	93,00	4	11,1	11,1	83,3
	94,00	3	8,3	8,3	91,7
	95,00	3	8,3	8,3	100,0
	Total	36	100,0	100,0	

sa_cuevas7

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	82,00	1	2,8	2,8	2,8
	83,00	1	2,8	2,8	5,6
	84,00	3	8,3	8,3	13,9
	85,00	2	5,6	5,6	19,4
	86,00	2	5,6	5,6	25,0
	87,00	1	2,8	2,8	27,8
	88,00	5	13,9	13,9	41,7
	89,00	3	8,3	8,3	50,0
	90,00	8	22,2	22,2	72,2
	91,00	5	13,9	13,9	86,1
	92,00	3	8,3	8,3	94,4
	93,00	2	5,6	5,6	100,0
	Total	36	100,0	100,0	

fc_bs_as

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	52,00	1	2,8	2,8	2,8
	58,00	1	2,8	2,8	5,6
	63,00	1	2,8	2,8	8,3
	68,00	1	2,8	2,8	11,1
	69,00	1	2,8	2,8	13,9
	70,00	1	2,8	2,8	16,7
	72,00	1	2,8	2,8	19,4
	74,00	2	5,6	5,6	25,0
	75,00	1	2,8	2,8	27,8
	78,00	2	5,6	5,6	33,3
	79,00	1	2,8	2,8	36,1
	80,00	2	5,6	5,6	41,7
	81,00	1	2,8	2,8	44,4
	83,00	3	8,3	8,3	52,8
	84,00	1	2,8	2,8	55,6

85,00	3	8,3	8,3	63,9
86,00	5	13,9	13,9	77,8
88,00	1	2,8	2,8	80,6
91,00	1	2,8	2,8	83,3
95,00	2	5,6	5,6	88,9
98,00	1	2,8	2,8	91,7
99,00	1	2,8	2,8	94,4
106,00	1	2,8	2,8	97,2
120,00	1	2,8	2,8	100,0
Total	36	100,0	100,0	

fc_cuevas

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos 59,00	1	2,8	2,8	2,8
66,00	1	2,8	2,8	5,6
69,00	1	2,8	2,8	8,3
72,00	5	13,9	13,9	22,2
73,00	2	5,6	5,6	27,8
74,00	1	2,8	2,8	30,6
78,00	3	8,3	8,3	38,9
79,00	1	2,8	2,8	41,7
80,00	2	5,6	5,6	47,2
81,00	1	2,8	2,8	50,0
83,00	1	2,8	2,8	52,8
84,00	2	5,6	5,6	58,3
85,00	1	2,8	2,8	61,1
86,00	2	5,6	5,6	66,7
87,00	1	2,8	2,8	69,4
88,00	1	2,8	2,8	72,2
90,00	1	2,8	2,8	75,0
91,00	2	5,6	5,6	80,6
93,00	2	5,6	5,6	86,1
100,00	3	8,3	8,3	94,4
108,00	1	2,8	2,8	97,2
110,00	1	2,8	2,8	100,0
Total	36	100,0	100,0	

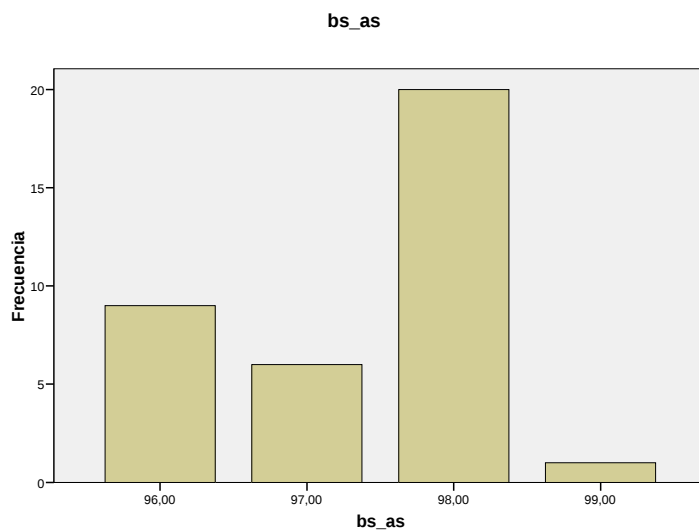
fc_cuevas7

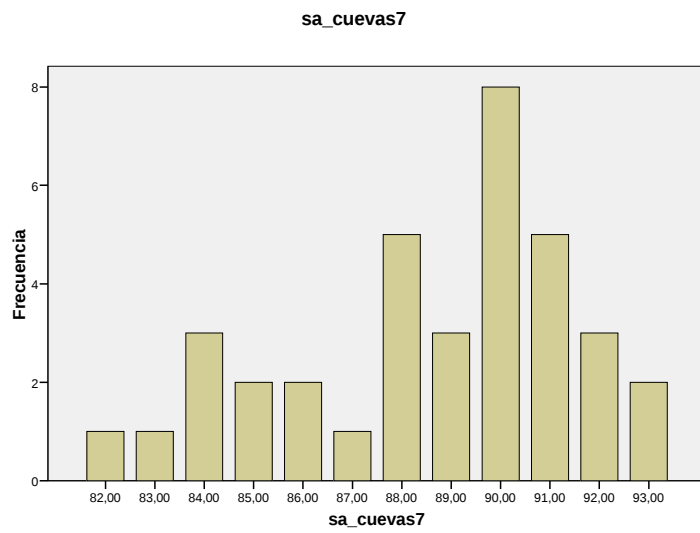
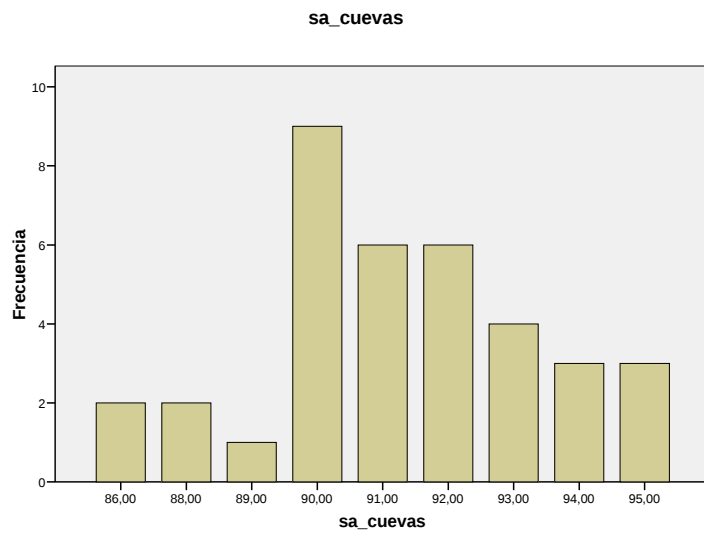
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos 71,00	1	2,8	2,8	2,8
80,00	2	5,6	5,6	8,3
87,00	2	5,6	5,6	13,9
92,00	3	8,3	8,3	22,2
93,00	1	2,8	2,8	25,0
96,00	1	2,8	2,8	27,8
97,00	1	2,8	2,8	30,6
98,00	1	2,8	2,8	33,3

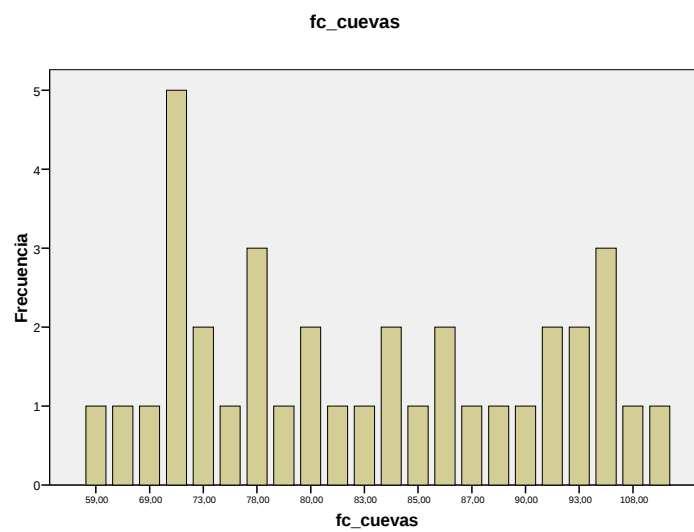
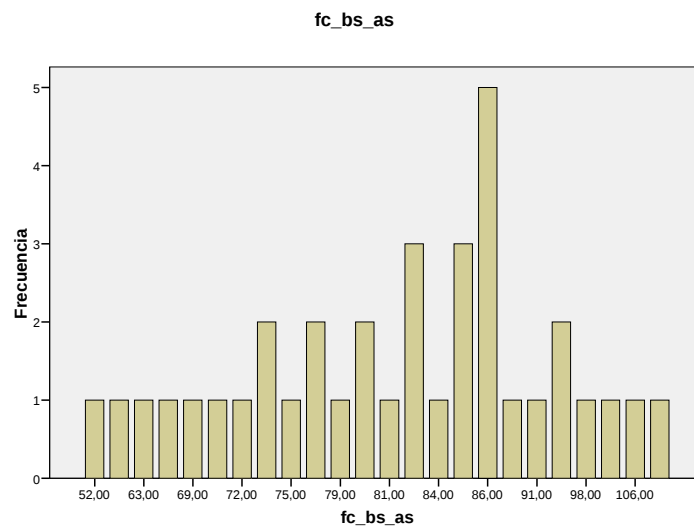
99,00	1	2,8	2,8	36,1
100,00	1	2,8	2,8	38,9
101,00	1	2,8	2,8	41,7
102,00	2	5,6	5,6	47,2
103,00	2	5,6	5,6	52,8
104,00	4	11,1	11,1	63,9
106,00	1	2,8	2,8	66,7
110,00	1	2,8	2,8	69,4
112,00	1	2,8	2,8	72,2
113,00	1	2,8	2,8	75,0
115,00	1	2,8	2,8	77,8
117,00	2	5,6	5,6	83,3
118,00	1	2,8	2,8	86,1
119,00	1	2,8	2,8	88,9
120,00	2	5,6	5,6	94,4
122,00	1	2,8	2,8	97,2
124,00	1	2,8	2,8	100,0
Total	36	100,0	100,0	

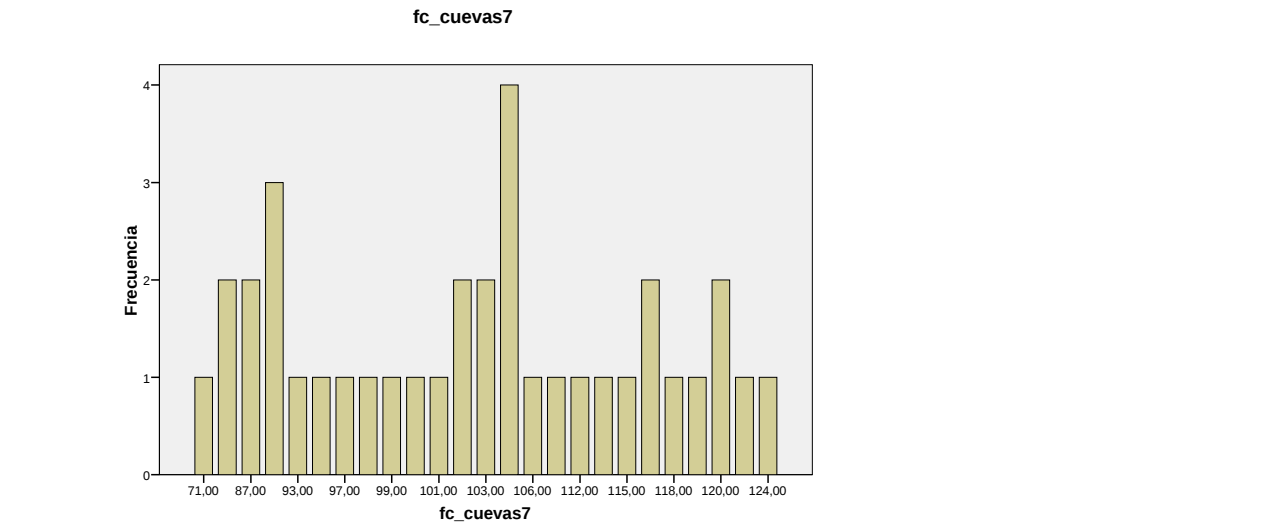
Anexo II

Gráfico de barras de frecuencias









Anexo III

Tabla de datos generales																																										
		So2															FO															síntomas de mam										
Apellido y nombre		bs as 1	potrerito	cuevas 1	cuevas 2	cuevas 3	cuevas 4	cuevas 5	cuevas 6	cuevas 7	bs as 2	bs as 1	potrerito	cuevas 1	cuevas 2	cuevas 3	cuevas 4	cuevas 5	cuevas 6	cuevas 7	bs as 2	sas2 min	lcoms	bs as 1	potrerito	cuevas 1	cuevas 2	cuevas 3	cuevas 4	cuevas 5	cuevas 6	cuevas 7	bs as 2									
1	Adega Nicolas	98	97	90	88	90	85	50	83	82	97	81	68	78	97	121	112	112	104	87	90	Adega	32	121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
2	Alvarez Ezequiel	98	98	90	86	90	91	52	92	84	98	83	67	72	97	110	108	108	81	89	66	Alvarez	34	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
3	Arreaza Leandro	98	97	92	81	86	86	66	83	50	96	78	58	99	127	103	84	90	81	52	78	Arreaza	31	127	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0								
4	Bellico Gastel	97	98	91	82	92	85	51	87	67	98	78	66	100	121	81	67	82	75	68	69	Bellico	32	121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
5	Bravetti Florencia	98	98	92	89	93	90	68	90	51	98	65	68	60	123	156	113	147	112	102	81	Bravetti	38	156	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
6	Burraco Enrique	98	96	90	84	80	86	83	83	69	96	65	60	73	99	100	104	103	109	87	76	Burraco	30	105	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0								
7	D Vicarzo Florencia	98	97	91	89	91	93	51	93	50	94	83	86	73	103	117	56	112	103	101	72	D Vicarzo	39	117	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
8	Fernandez German	90	80	90	80	88	84	60	83	60	97	74	68	108	110	127	100	125	108	119	80	Fernandez	30	127	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0								
9	Fernandez Natalia	97	98	94	82	82	86	69	83	69	98	60	70	60	121	143	102	112	101	118	70	Fernandez	32	143	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0								
10	Galante Julia	98	97	90	88	90	92	69	92	68	98	75	90	72	100	125	120	119	110	100	88	Galante	38	125	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0								
11	Geste Charal	98	98	94	81	84	92	56	94	53	88	65	83	110	130	113	107	129	101	120	90	Geste	31	130	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0								
12	Hernandez Julian	96	97	89	79	86	82	64	80	68	97	74	72	83	120	132	100	107	124	120	89	Fernandez	79	132	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0								
13	Hiralde Henar	96	95	90	90	90	86	51	85	61	98	66	67	64	99	126	54	110	122	103	63	Hiralde	35	126	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0								
14	Inusa Micaela	98	96	95	84	91	90	53	83	68	98	66	85	84	113	130	114	101	119	110	77	Inusa	34	130	0	0	0	0	2	1	0	0	5	0								
15	Jardo Mariano	98	96	92	89	90	85	67	84	66	98	68	70	72	137	118	116	92	94	103	88	Jardo	30	137	0	0	0	0	0	2	4	0	0	0								
16	Lepez-Venoz José	97	95	91	93	90	91	51	83	68	98	83	75	81	1	100	130	105	100	110	120	82	Lepez-Venoz	38	130	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0							
17	Lucero Nigrid	98	96	92	78	82	91	83	83	63	83	97	60	77	81	121	120	110	111	110	115	70	Lucero	76	121	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0							
18	María Wargata	98	99	86	88	81	81	65	83	68	98	68	55	79	109	129	102	61	75	124	50	María	31	125	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0								
19	Mazzarella Walter	96	97	86	83	89	85	83	93	53	97	65	62	86	120	103	51	92	79	106	62	Mazzarella	33	103	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0								
20	Món Farmer	98	96	88	81	84	84	68	87	65	98	70	66	65	116	127	110	98	92	59	86	Món Farmer	31	127	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0								
21	Müller Alina	96	98	95	90	90	91	51	83	61	98	52	54	59	76	88	74	98	79	104	53	Müller	36	104	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0								
22	Nalcis Graciela	98	98	92	92	80	81	66	85	52	98	88	89	50	119	128	120	116	105	117	84	Nalcis	30	128	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0								
23	Padore Lucas	97	97	90	81	83	90	65	85	64	98	83	72	78	103	115	113	135	105	112	80	Padore	31	135	0	0	0	0	0	1	2	0	0	1								
24	Peto Javier	99	97	90	90	92	93	63	91	60	97	66	80	74	76	74	60	80	62	71	66	Peto	30	96	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0								
25	Rodríguez Gascualy	98	97	91	90	91	85	50	87	85	98	65	110	100	105	134	112	121	122	104	97	Rodríguez	35	134	0	0	0	0	0	4	2	0	0	0								
26	Ruiz Gabriel	98	98	95	88	90	87	52	83	62	98	69	83	63	111	138	112	115	102	104	74	Ruiz	87	138	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
27	Rosales Marín	98	97	90	88	90	90	68	93	52	97	79	60	83	108	143	87	114	110	52	54	Rosales	38	143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
28	Sicardi Ezequiel	97	97	92	86	91	92	64	82	66	98	51	74	78	98	113	88	141	103	104	73	Sicardi	32	141	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
29	Soriano Alejandro	96	97	88	89	90	91	69	91	64	97	68	72	65	103	75	108	118	77	67	73	Soriano	34	118	0	0	0	0	0	3	1	0	2	1								
30	Taborca Paula	98	97	94	84	89	91	52	93	51	98	65	79	87	123	90	108	131	118	56	82	Taborca	34	131	0	0	0	0	1	4	5	0	0	1								
31	Tudisco Jeronimo	96	98	91	81	93	93	65	92	50	96	64	75	72	114	125	108	96	60	112	89	Tudisco	31	125	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0								
32	Valefi Van	96	97	93	80	83	86	62	83	50	96	120	84	100	120	120	114	132	110	107	74	Valefi	30	132	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
33	Vera Esteban	98	99	93	89	85	86	66	94	61	97	68	56	68	122	119	66	104	99	62	59	Vera	30	122	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0								
34	Vera Pablo	97	97	93	85	90	90	50	92	50	98	69	57	66	99	103	100	80	73	63	61	Vera	35	103	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0								
35	Vigliani Silvio	98	99	91	89	86	86	51	90	50	98	72	78	72	104	91	88	90	93	60	83	Vigliani	36	104	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0							
36	Zaldivar gnacio	96	96	93	86	92	90	51	95	69	95	106	85	51	120	112	100	110	85	113	79	Zaldivar	36	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
Promedio		57.36	57.194	91.222	35.472	87.890	88.167	88.539	88.25	88.311	57.1	62.25	72.25	82.372	113.28	113.14	102.58	103.67	97.583	102.63	74.28		85.472	116.1																		

Anexo IV

En el cuadro siguiente se muestra las diferentes valores de presión y saturación de oxígeno de acuerdo a la altura a nivel del mar

Altura en metros	PA O ₂	Pa O ₂	%HbO ₂	Pv O ₂	Pa CO ₂
0	100	90	96	37	40
1000	87	72	95	37	40
2000	72	65	92	36	39,5
3000	57	53	87	34	38
4000	48	42	82	30	35
5000	40	38	75	25	33
6000	34	33	66	21	30
	mmHg	mmHg		mmHg	mmHg

Extraído de: Dr. Cárdenas, G. "Fisiología de las Grandes alturas"